

LEICHTWEISS-INSTITUT FÜR WASSERBAU
DER TECHNISCHEN UNIVERSITÄT BRAUNSCHWEIG

LEHRSTUHL FÜR HYDROMECHANIK UND KÜSTENWASSERBAU
O. PROF. DR.-ING. A. FÜHRBÖTER

Bericht Nr. 321

MODELLUNTERSUCHUNGEN FÜR DEN ABSENKVORGANG
EINES GRÜNDUNGSKÖRPERS UNTER SEEGANGSEINWIRKUNG

O. PROF. DR.-ING. A. FÜHRBÖTER
OBERING. DR.-ING. F. BÜSCHING
CAND. ING. K.-H. BARTONITSCHKE
CAND. ING. D. HEINTZE

BRAUNSCHWEIG
JANUAR 1977

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung	1
2. Modellbeschreibung	2
3. Durchführung der Untersuchungen	16
4. Untersuchungsergebnisse	18
5. Besondere Beobachtungen und Schlußfolgerungen	29
6. Schrifttum	35

1. Einleitung

Als Ergebnis von umfangreichen Untersuchungen über Gründungsmöglichkeiten für die Forschungsplattform NORDSEE ist hierfür eine achteckige schwimmfähige Stahlbetonplatte gewählt worden, deren Vorteil darin besteht, daß allein durch Fluten der Zellen das erforderliche Gründungsgewicht erzielt wird.

Eine im Prinzip ähnliche Struktur ist auch für die Gründung eines Sendemastes vorgesehen, der unmittelbar neben der Forschungsplattform NORDSEE errichtet wird.

Mit der Absicht, die Risiken beim Absenkvorgang möglichst einzugrenzen, wurde mit Schreiben Sa/co von der INGENIEURGEMEINSCHAFT MEERESTECHNIK UND SEEBAU GMBH am 25.06.1976 an den LEHRSTUHL FÜR HYDROMECHANIK UND KÜSTENWASSERBAU der TECHNISCHEN UNIVERSITÄT BRAUNSCHWEIG der Auftrag vergeben, für die Abschätzung der in den Hebezeugen infolge von seegangserzeugten Relativbewegungen auftretenden Kräfte Modelluntersuchungen durchzuführen.

Diese Modelluntersuchungen wurden in engem Kontakt mit dem Auftraggeber durchgeführt, so daß einerseits eine Anpassung der Untersuchungsziele an ein verändertes Montagekonzept möglich war und andererseits Schwerpunkte entsprechend dem Fortschritt der Untersuchungen gesetzt werden konnten.

Demnach werden im Folgenden sowohl Untersuchungsergebnisse entsprechend der ursprünglichen Absenkkonzeption unter Verwendung von zwei Schwimmpontons gleicher Größe als auch bezüglich des Absenkverfahrens mit nur einem Schwimmkran mit entsprechend größerer Tragfähigkeit mitgeteilt.

Die Beanspruchungen der Hebezeuge wurden für den Periodenbereich $3 \leq T \leq 12,5$ s in Abhängigkeit von den Parametern

Anströmrichtung (längs oder quer zur Pontonachse)

Absenktiefe ($5,5 \text{ m} \leq z \leq 30 \text{ m}$) und

Wellenhöhe ($H = 1,0$ und $H = 1,5 \text{ m}$)

untersucht.

Nach Abstimmung mit den Auftraggebern wurde wegen des erheblichen modelltechnischen Aufwandes auf eine exakte Nachbildung des Verankerungssystems und der Elastizität der Hebezeuge verzichtet. Dasselbe gilt für die Nachbildung von Roll- und Stampfperiode der verwendeten Schwimmpontons, da derartige Unterlagen nicht beschaffbar waren.

Demnach wurden diese Untersuchungen auf der Grundlage einer bestimmten Verankerungskonfiguration mit mehr oder weniger unelastischen Hebezeugen durchgeführt.

2. Modellbeschreibung

Abb. 1 und 2 zeigen in der Versuchshalle des Leichtweiß-Instituts den Wellenbeckenausschnitt, in dem die Untersuchungen durchgeführt wurden.

Es handelt sich um einen Wellenkanal mit den Abmessungen

Länge	16,0 m
Breite	3,58 m und
Wassertiefe	0,48 m

Für die Wahl des Maßstabes

$$1 : K = 1 : 66,66$$

war die an der FP NORDSEE vorhandene mittlere Wassertiefe $d = 32$ m entscheidend.

Bei diesem Maßstab beträgt das Verbaunungsverhältnis

Querschnitt Festkörper (GRK)/Kanalquerschnitt (F_K)

$$F_{GRK} / F_K \approx 1,5 \%$$

so daß hier Rückstaueffekte etc. von untergeordneter Bedeutung sind.

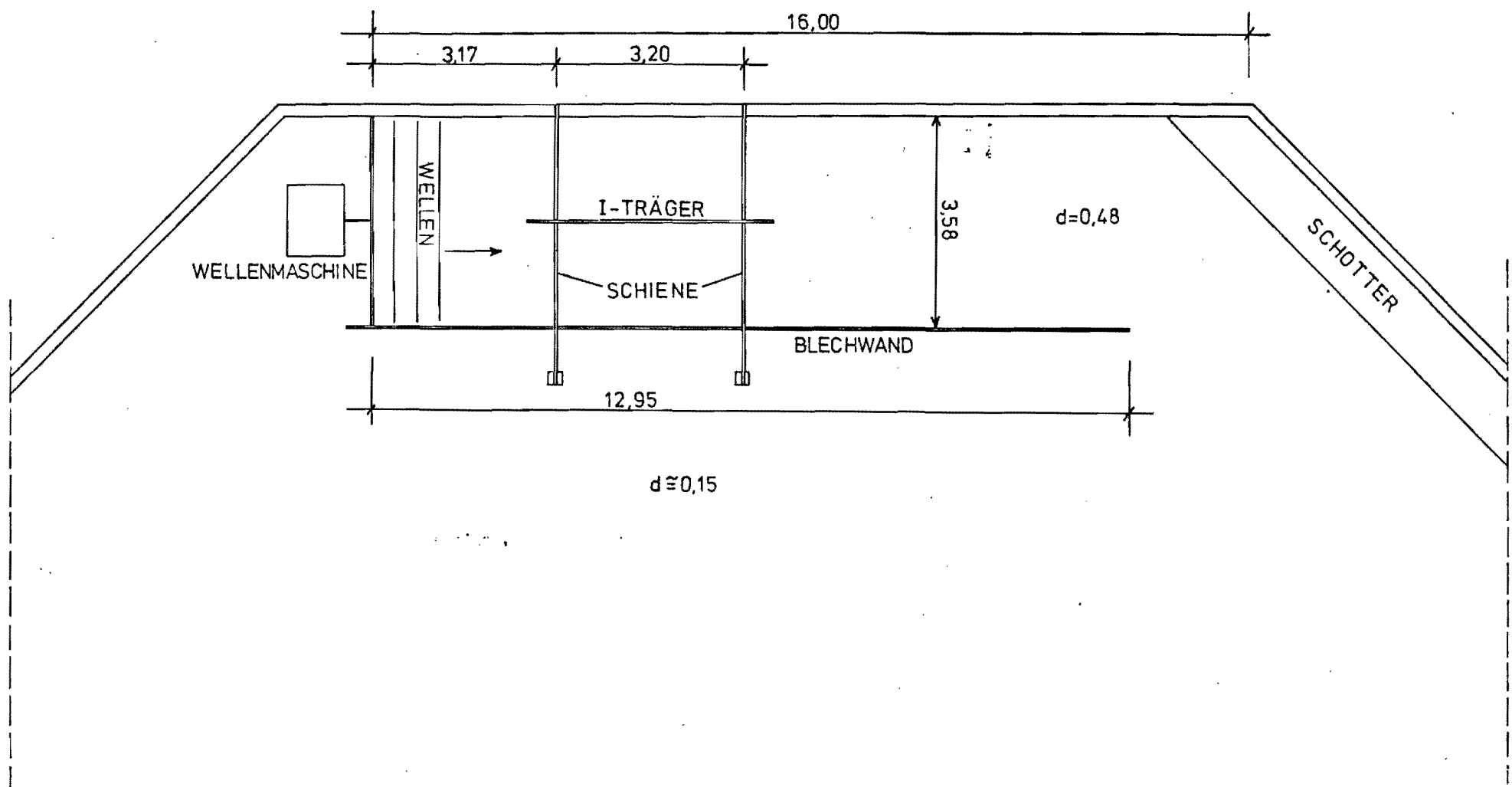


Abb. 1: Wellenkanal
 Maßstab 1 : 100
 Maße in m



Abb. 2: Modellübersicht

Zur Wellenerzeugung wurde eine Wellenmaschine des Herstellers KEMPF und REMMERS eingesetzt, die stufenlos für verschiedene Wellenhöhen und -perioden eingestellt werden konnte, vgl. Abb. 2 und 3.

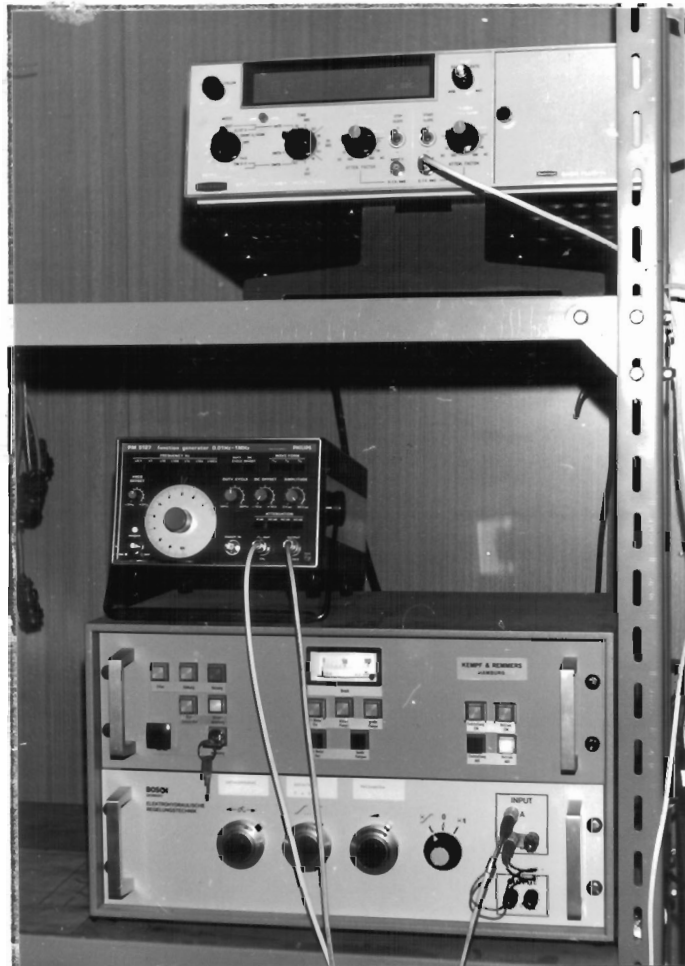


Abb. 3: Steuergerät für die Wellenmaschine,
Frequenzgenerator und Impulszähler

Die Modellanordnung, bestehend aus Testkörper GRK und einem bzw. zwei Schwimmkranmodellen (1800 t-Kran bzw. Magnus XII) wurde in der Mitte des Kanals etwa 6 m von der Wellenmaschine entfernt installiert.

Abmessungen und Gestalt des Gründungskörpers sowie der verwendeten Schwimmkranmodelle sind aus den Abbildungen 4, 5 und 6 ersichtlich.

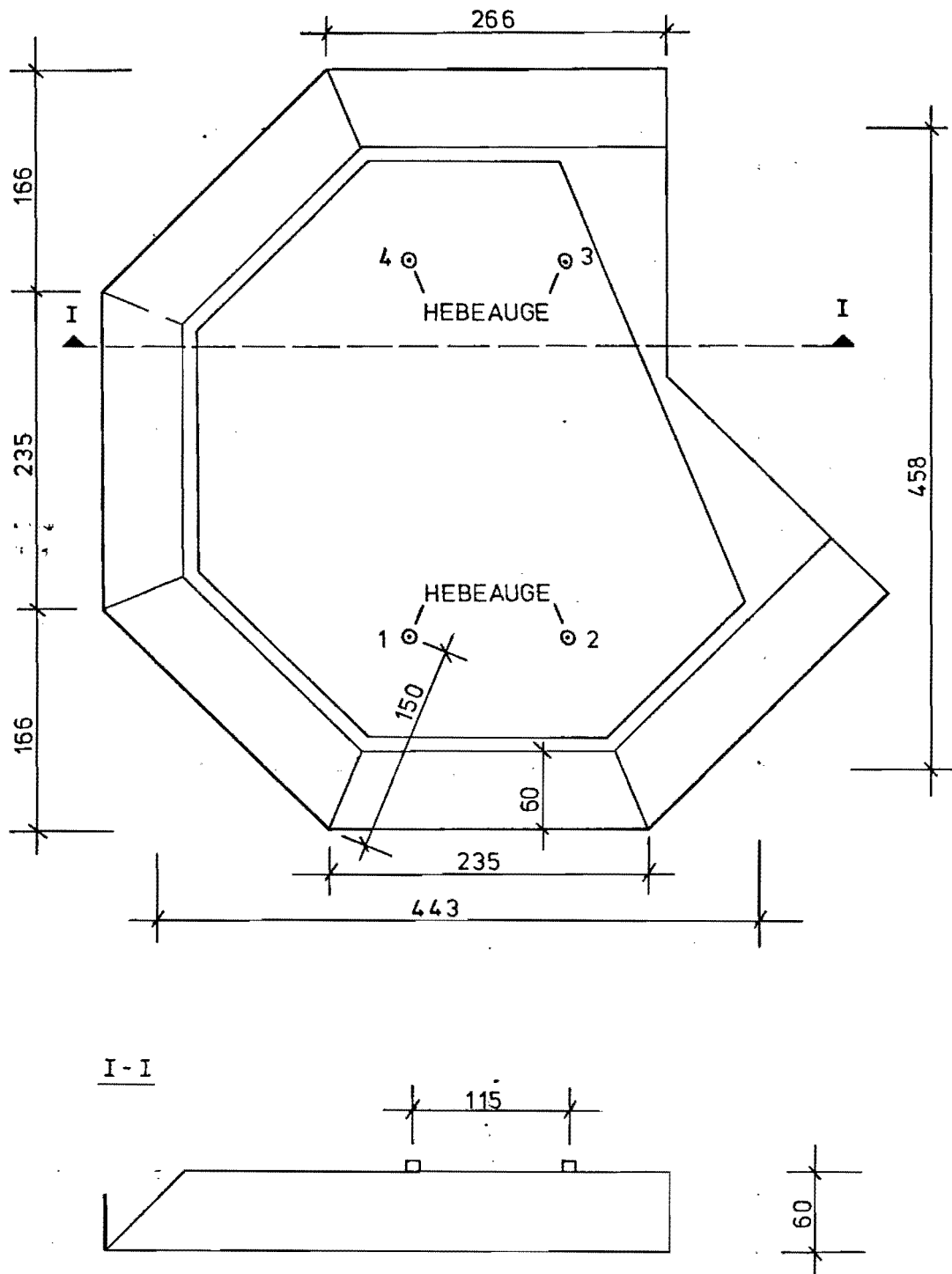


Abb. 4: Modell des Gründungskörpers (GRK)
 Maßstab 1 : 5
 Modellmaße in mm

Abb. 5: Modell des Schwimmkrans 1
 Maßstab 1:6,67
 Modellmaße in mm

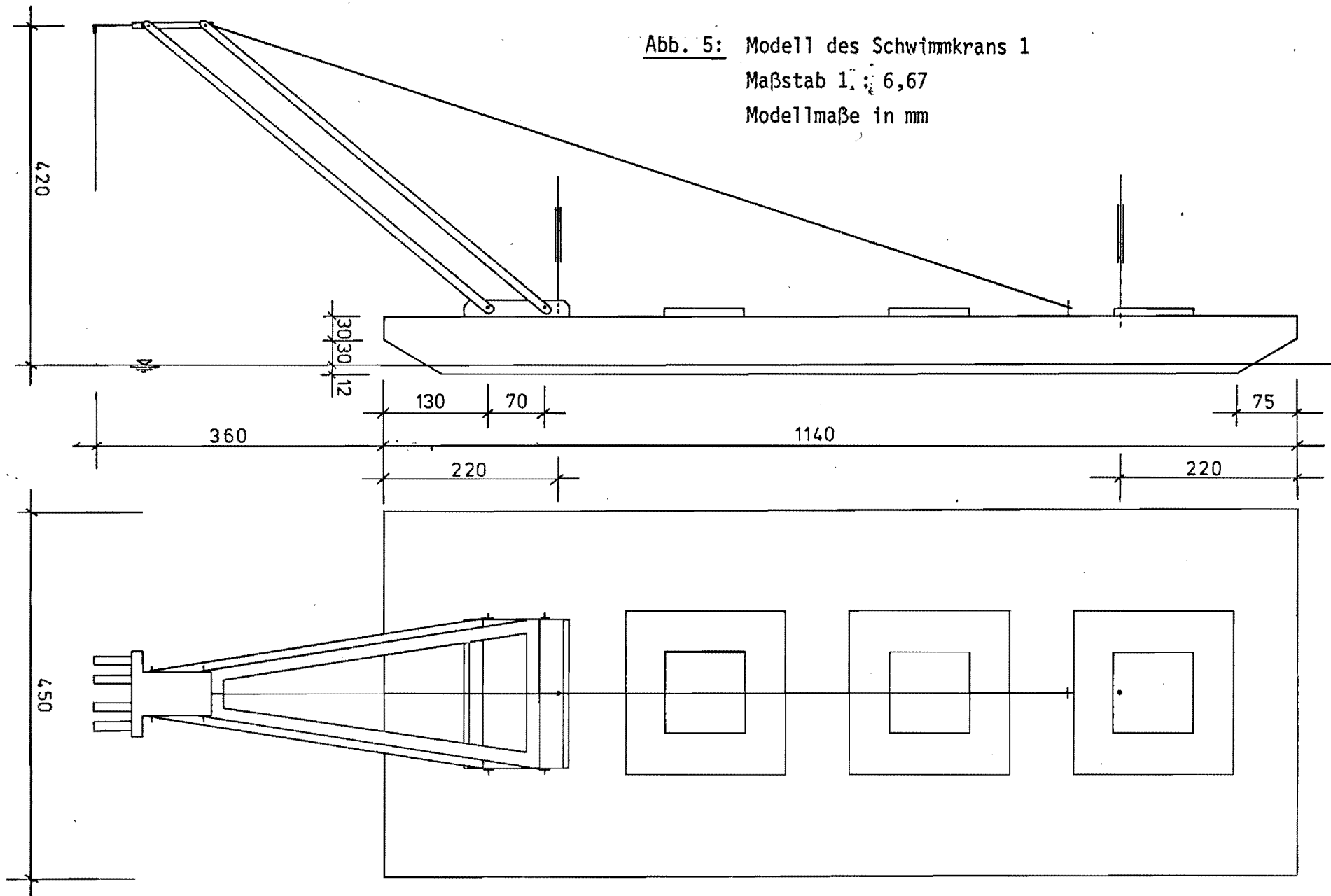
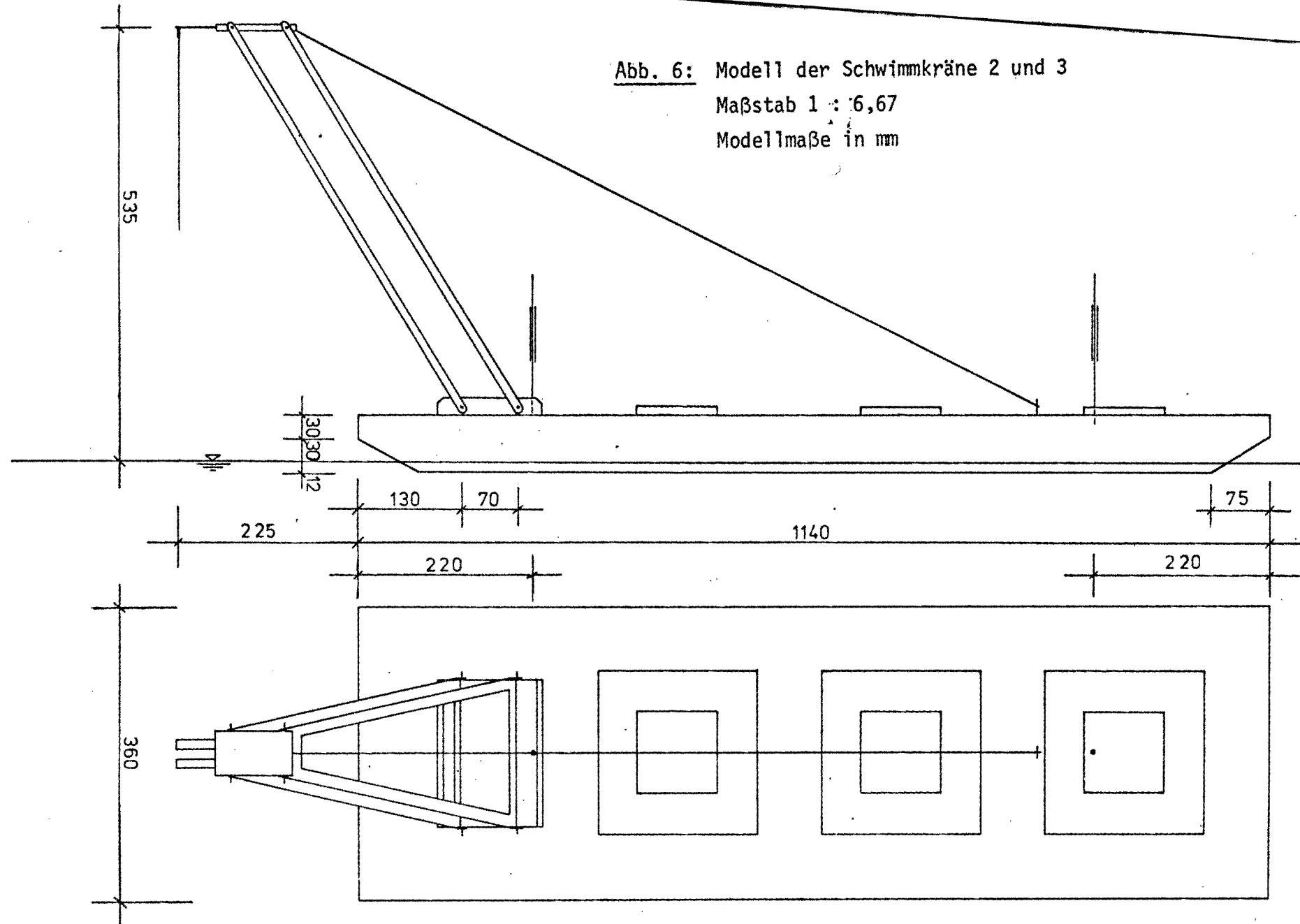


Abb. 6: Modell der Schwimmkräne 2 und 3

Maßstab 1 : 6,67

Modellmaße in mm



Demnach bestand das GRK-Modell aus einer aus PVC gefertigten Wanne, deren Innenraum zur Erzielung der erforderlichen Schwerpunktlage und des Gewichtes zunächst mit Ballast belegt und danach zur Vervollständigung der Modellform mit Stearin ausgegossen wurde. Die aus geschäumtem Plexiglas hergestellten Schwimmkräne waren mit verstellbaren Auslegern versehen. Jeder Ponton besaß drei Trimmzellen, in die zur Einstellung des exakten Modellgewichtes (Tiefgang) und der waagerechten Lage unter Last Eisenerz als Ballast eingefüllt wurde. Der Gründungskörper hing mit Drahtseilen an den Kränen. Für die genaue Einstellung der betreffenden Absenktiefe und gleichmäßige Lastverteilung auf vier Seile waren Gewindeverbindungen eingeschaltet, vgl. Abb. 7.

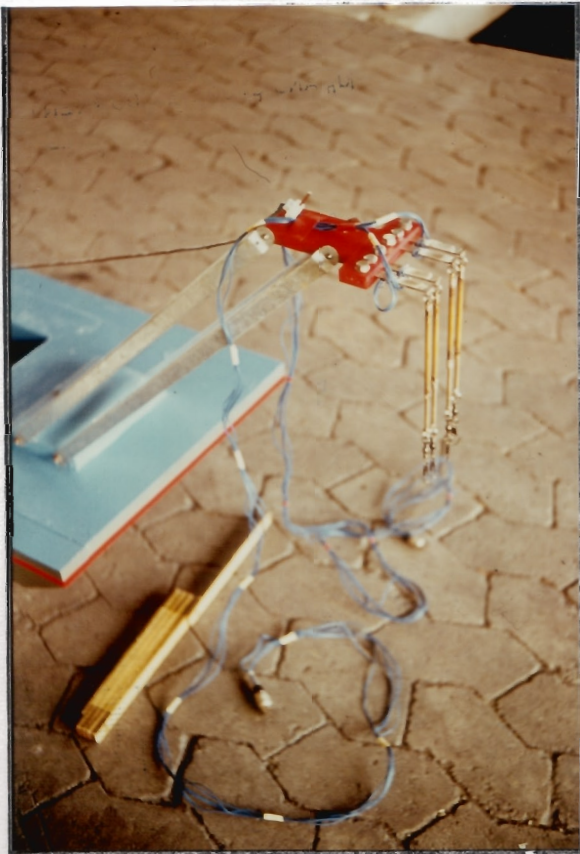


Abb. 7: Seilkraft-Meßeinrichtung mit DMS; Gewindeverbindungen zum Seillängenausgleich

Ein Verdrillen der Seile wurde durch Karabinerhaken mit Wirbeln (Anglerbedarf) verhindert, zur Vermeidung von Reflexionserscheinungen am Kanalende stellte sich die Anordnung einer Wand mit vorgelagerter Schotterböschung als vorteilhaft heraus, die mit den Seitenwänden des Kanals einen Winkel von 45° bildete, vgl. Abb. 1.

Zum größten Teil wurde die Wellenenergie auf der Böschung umgewandelt bzw. in den größeren Teil des Wellenbeckens reflektiert.

Die Modellapparatur selbst (Schwimmpontons und Gründungskörper, vgl. Abb. 8) war an einem I-Träger befestigt, der sich auf zwei Stahl-schienen abstützte, die ihrerseits auf der Seitenwand und Auflagerböcken auflagen, vgl. Abb. 1 und 2.

Eine naturähnliche Verankerung der Schwimmkräne - etwa eine Abspannung mit Seilen zum Boden hin, vgl. Abb. 9 - stellte sich in Voruntersuchungen als unkontrollierbar heraus.

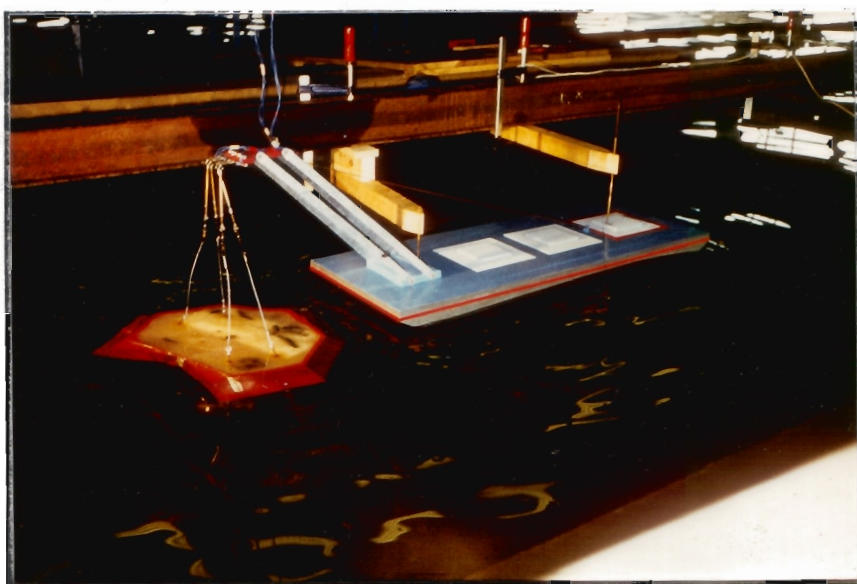


Abb. 8: Verankerung eines Schwimmkörpers unter Verwendung von Schiebehülsen
Modell im Betrieb: Vollständige Seilentlastungen

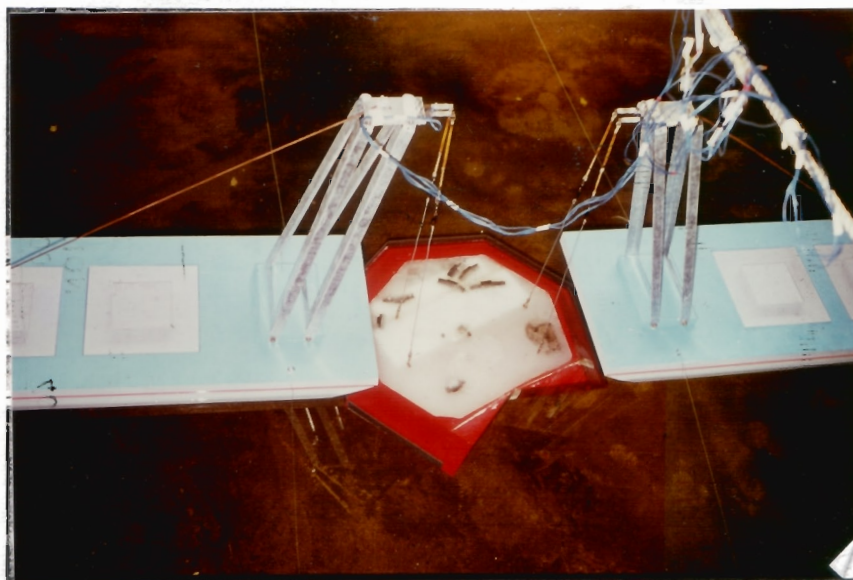


Abb. 9: Naturähnliche Verankerung mit abgespannten Seilen

Es wurde deshalb eine Verankerungskonfiguration unter Verwendung von Schiebehülsen, vgl. Abb. 8 und 10, gewählt, die zwar Vertikalbewegungen zuließ und in gewissem Umfang auch Drehbewegungen um die Längs- und Querachse, andererseits aber Horizontalbewegungen weitgehend verhinderte.

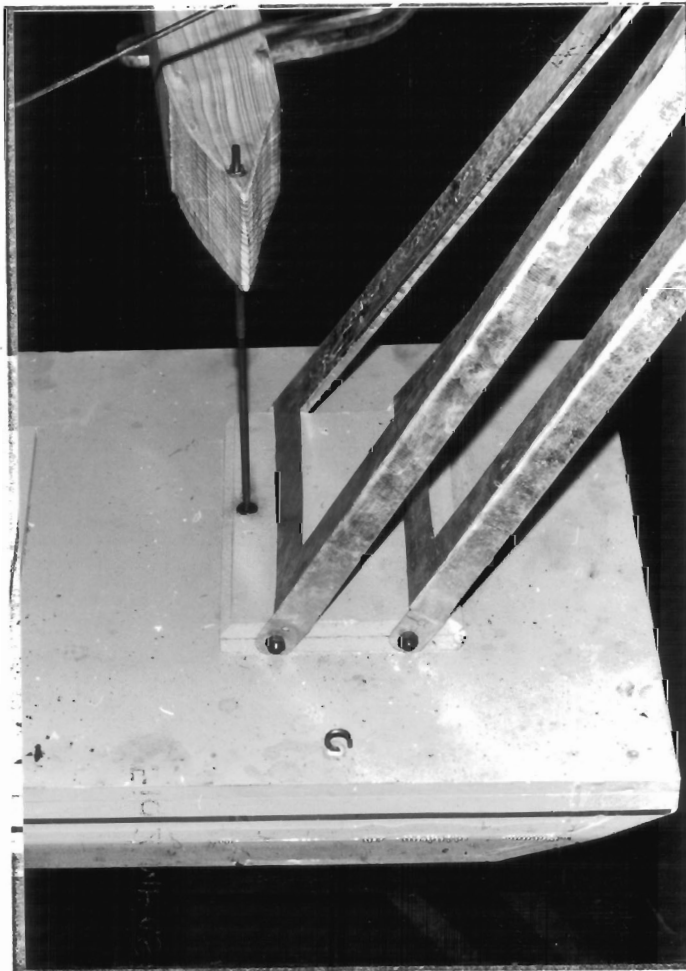


Abb. 10: Detail: Schiebehülse

Für die Registrierung der Wasserspiegelauslenkungen (Wellenhöhen) wurden zunächst ein, später zwei elektronische Wellenpegel fest im Kanal installiert, von denen sich der eine auf der Höhe des Testkörpers und der andere in bestimmter Entfernung zwischen Wellenmaschine und Modellanordnung, vgl. Abb. 11 und 12, befand.

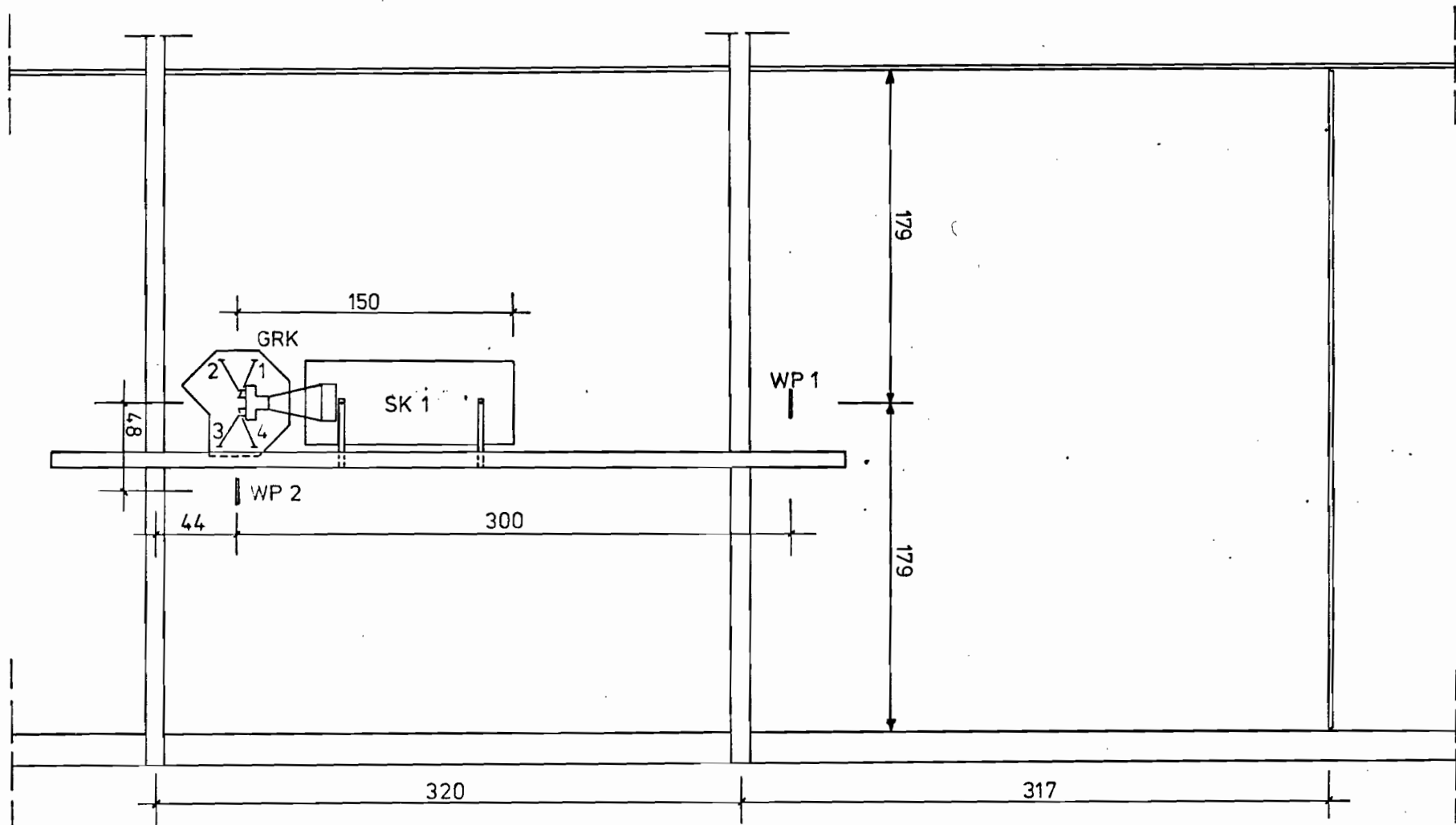


Abb. 11: Versuchsaufbau "1 Schwimmkran", Maßstab 1 : 33,33, Maße in cm

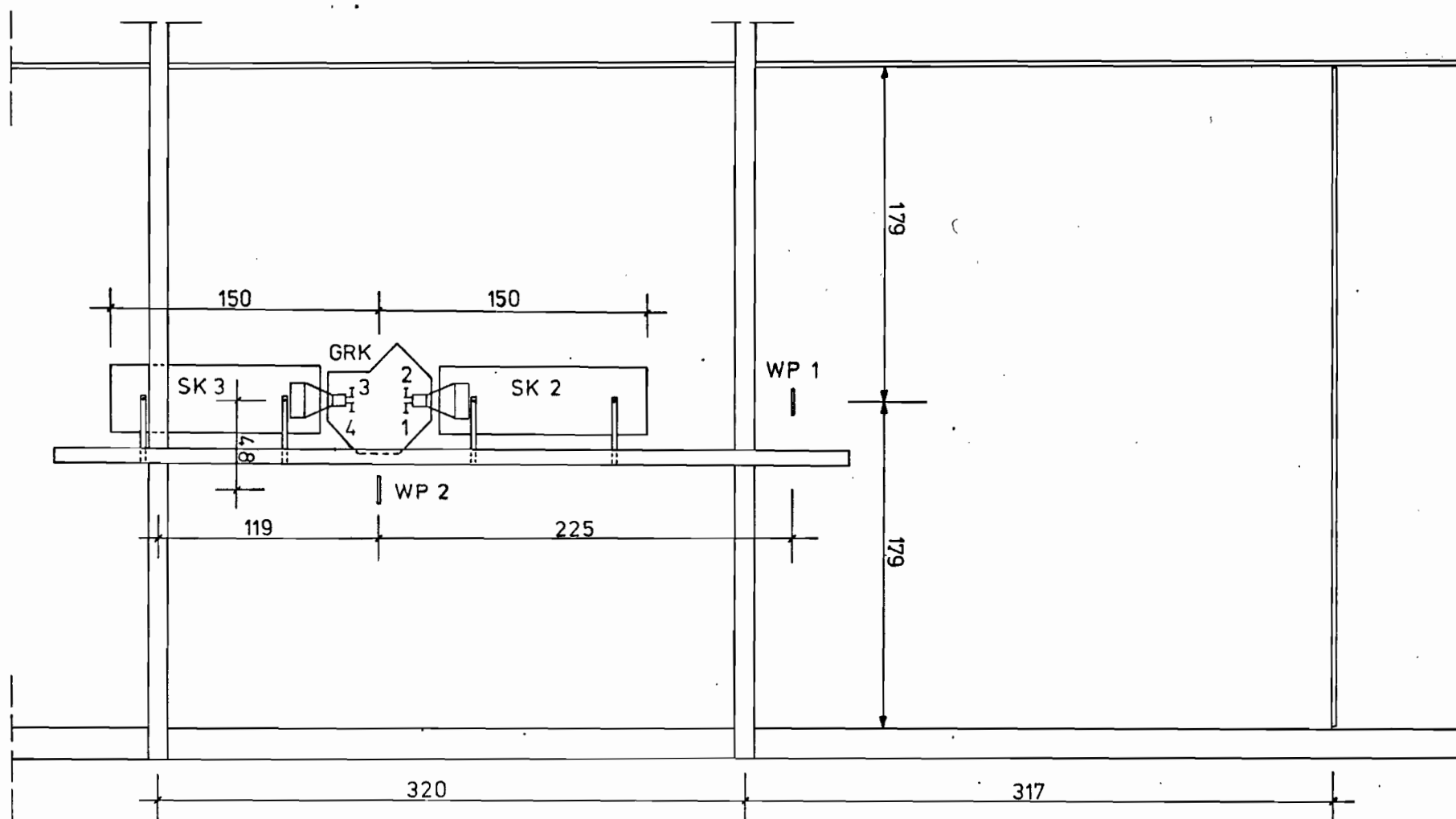


Abb. 12: Versuchsaufbau "2 Schwimmkräne", Maßstab 1 : 33,33, Maße in cm

Die an den Kranauslegern angreifenden Aufhängekräfte (Seilkräfte) wurden über Dehnungen von eingespannten Federstählen, vgl. Abb. 7, 13 und 14, mit Dehnmeßstreifen (DMS) erfaßt.

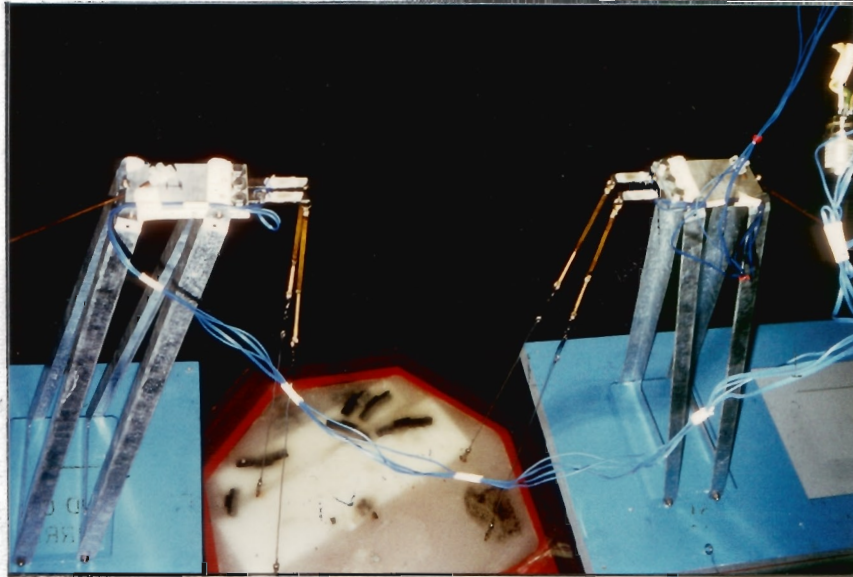


Abb. 13: Modellanordnung "2 Schwimmkräne"

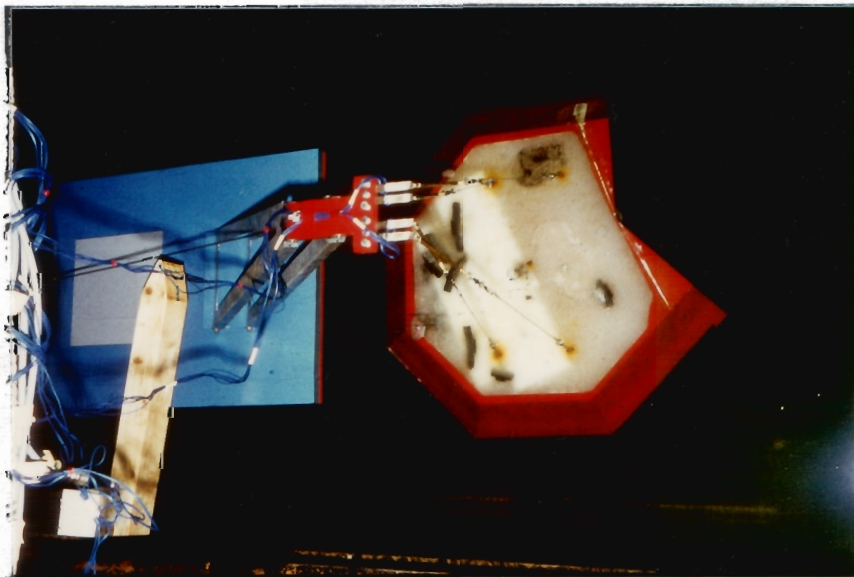


Abb. 14: Modellanordnung "1 Schwimmkran"

Wasserspiegelauslenkungen $\eta(t)$ sowie die Zeitfunktionen der Seilkraftschwankungen wurden nach dem gleichen Meßprinzip erhalten, vgl. FOHRBÜTER (1960): Die betreffenden Meßgeber verstimmen vorher abgestimmte WHEATSTONE'sche Brückenschaltungen, wodurch in deren Nullzweig jeweils zur Meßgröße proportionale Spannungen erzeugt werden. Diese werden über Trägerfrequenz-Meßverstärker (6-Kanal-Verstärker vom Typ HOTTINGER BALDWIN, KWS 6 A-5) auf ein Registriergerät (HONEYWELL 2208 A Visicorder UV) gegeben und dort aufgezeichnet, vgl. Abb. 15.

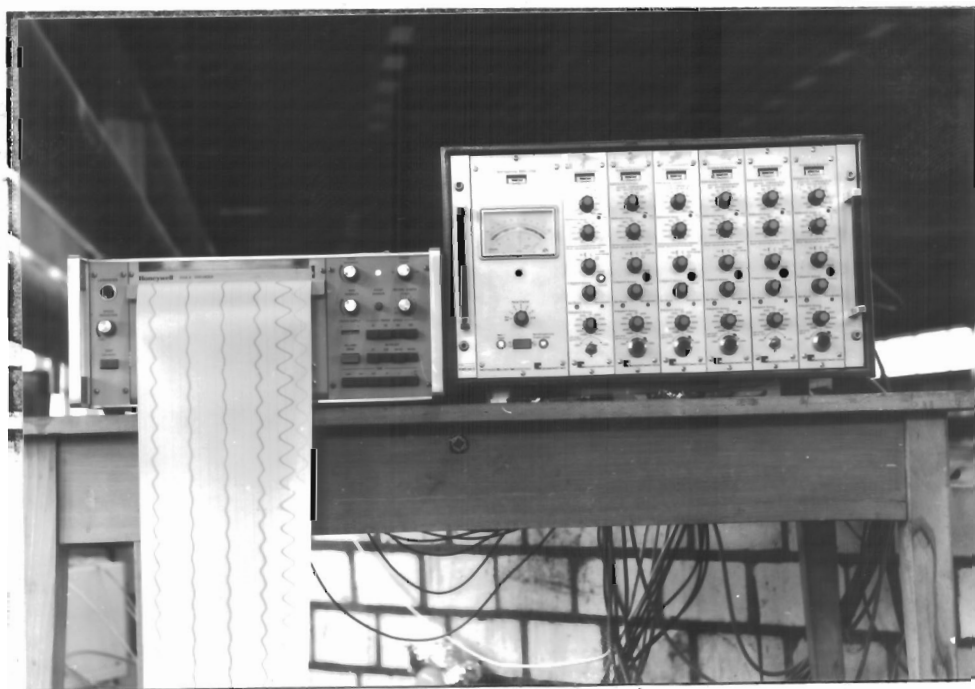


Abb. 15: 6-Kanal-Meßverstärker und UV-Registriergerät

Nach dem Modellgesetz von FROUDE gelten für die interessierenden Parameter folgende Maßstäbe:

Geometrie	$1 : K$	$= 1 : 66,6\bar{6}$
Frequenzen	$1 : K^{-0,5}$	$= 1 : 0,12247$ und
Kräfte	$1 : K^3$	$= 1 : 296296$

3. Durchführung der Untersuchungen

Für die Wassertiefe $d = 32 \text{ m}$ an der Position der FP NORDSEE ist die Tiefwasserbedingung

$$d = 32 \text{ m} \geq \frac{L}{2}$$

nur für Wellenperioden

$$T \leq 6.5 \text{ s}$$

erfüllt. Dementsprechend sind bei größeren Wellenperioden zunehmend verformte Wellen vorhanden und das Übertragungssystem Maschinensteuerung - Wellenhöhe ist nicht mehr linear. Um jedoch auch für Perioden $T > 6.5 \text{ s}$ zu einigermaßen vertrauenswürdigen Untersuchungsergebnissen zu gelangen, wurde auf der Grundlage von Voruntersuchungsergebnissen mit dem Auftraggeber das nachfolgend erläuterte Untersuchungskonzept vereinbart:

1. Vorwahl der betreffenden Wellenperiode (bzw. Frequenz)
2. Inbetriebnahme der Wellenmaschine
3. Sukzessive Anpassung der Maschinensteuerung an die Wellenpegelablesung bis sich für die vorgegebene Wellenhöhe ($H = 1,0 \text{ m}$ bzw. $H = 1,5 \text{ m}$) nach etwa 10 bis 15 Min. ein Beharrungszustand eingestellt hatte, d. h., die Wellenhöhe konstant blieb.
4. Aufzeichnung der Aufhängekräfte über die Dauer von 4 bis 5 Min. im Langsamvorschub

Selbstverständlich wurde die Kraft-Meßeinrichtung ebenso wie der Wellenpegel durch Belastung mit bekannten Gewichten (0,5 und 1 kg) bzw. höhenmäßige Verstellung um vorgegebene Beträge geeicht und auf Linearität geprüft.

Die Auswertung der Aufzeichnungen erfolgte dann entsprechend der Darstellung auf Abb. 16.

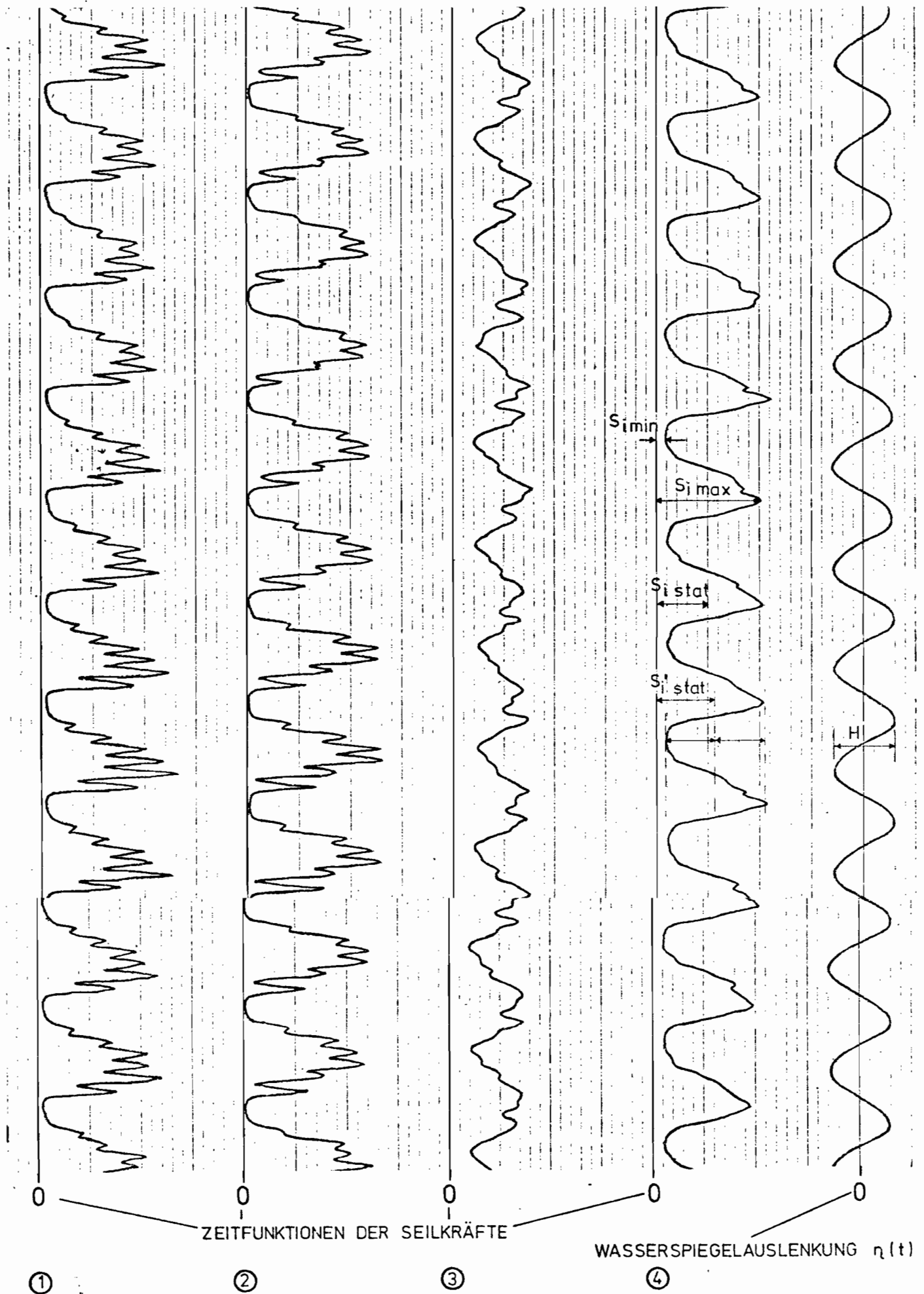


Abb. 16: Zur Auswertung der Meßgrößen

Demnach wurden jeweils die maximalen und minimalen Seilkräfte ermittelt, für die folgenden Beziehungen gelten:

$$S_{i \max/\min} = S_{i \text{ stat}} + S_{i \text{ dyn. max/min}}$$

$$S_{i \text{ stat}} = \frac{1}{4} (G - A)_{\text{GRK}}$$

mit dem zum Gründungskörper gehörenden

Gewicht G und Auftrieb A

Im allgemeinen stellte sich heraus, daß die vor Beginn der jeweiligen Testreihe bei Abwesenheit von Wellen vorhandenen Seilkräfte $S_{i \text{ stat}}$ u. a. wegen der Eigenbewegung der Pontons nicht mit dem Wert

$$S'_{i \text{ stat}} = \frac{S_{i \max} + S_{i \min}}{2}$$

übereinstimmen. Insbesondere traten bei bestimmten Wellenperioden vollständige Entlastungen bestimmter oder sogar aller Seile auf, worauf nachfolgend u. a. näher eingegangen wird.

4. Untersuchungsergebnisse

Die Untersuchungsergebnisse für den Absenkvorgang von einem Schwimmkran aus sind in den Abb. 17 bis 22 enthalten. Demnach handelt es sich um die nachfolgend spezifizierten Meßreihen:

1. Längsanströmung von West (Längsachse des Pontons parallel zur Wellenfortschrittsrichtung)

Meßreihe Nr.	Absenktiefe z [m]	Wellenhöhe H [m]
1.1.1	- 5,5	1,0
1.1.2	- 5,5	1,5
1.2.1	- 13,0	1,0
1.2.2	- 13,0	1,5
1.3.1	- 28,0	1,0
1.3.2	- 28,0	1,5
1.4.1	- 30,0	1,0
1.4.2	- 30,0	1,5

2. Queranströmung von Nord (Querachse des Pontons parallel zur Wellenfortschrittsrichtung)

2.1.1	- 5,5	1,0
2.1.2	- 5,5	1,5
2.2.1	- 13,0	1,0
2.2.2	- 13,0	1,5

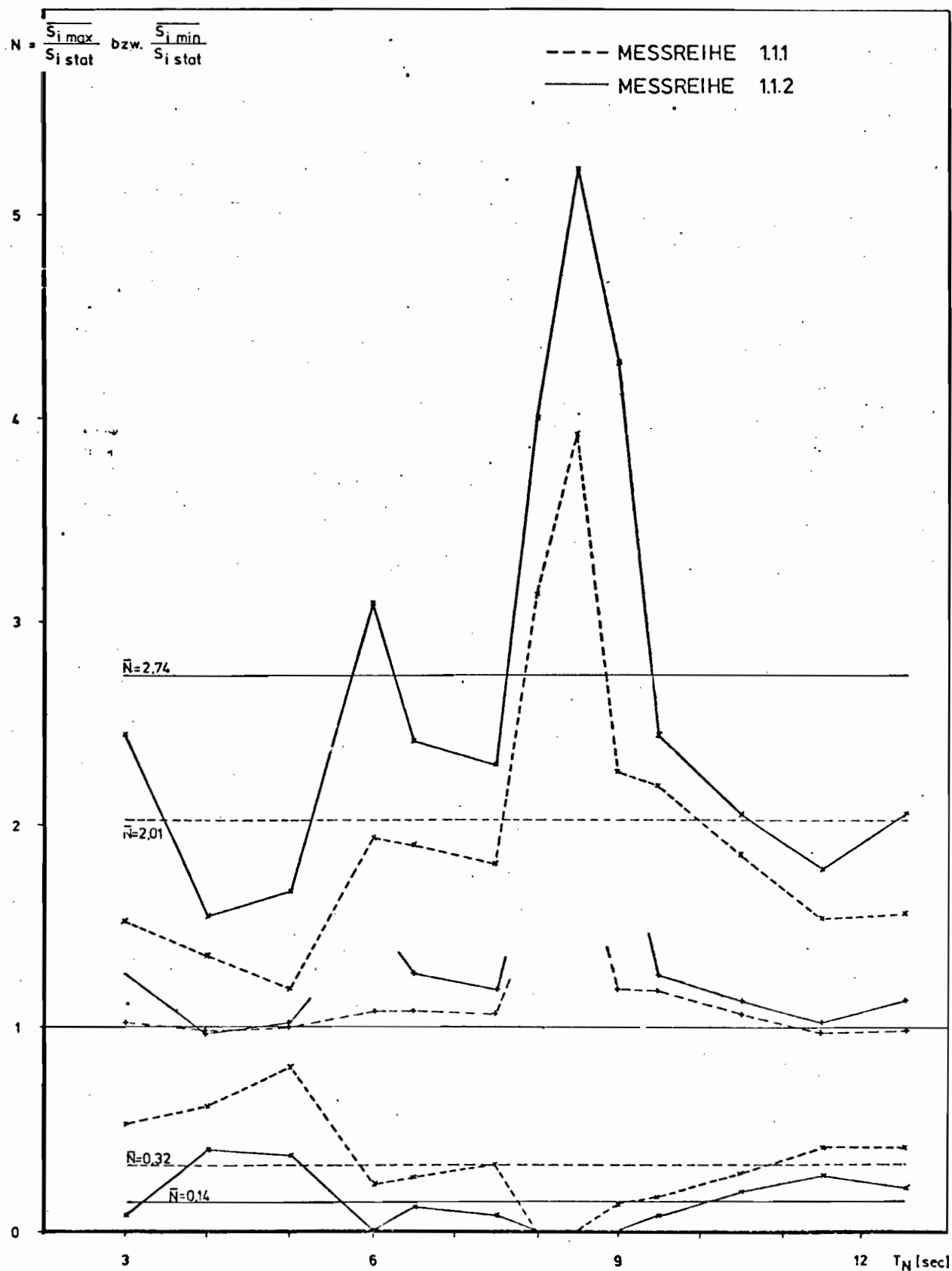


Abb. 17: Untersuchungsergebnisse der Meßreihen 1.1.1 und 1.1.2

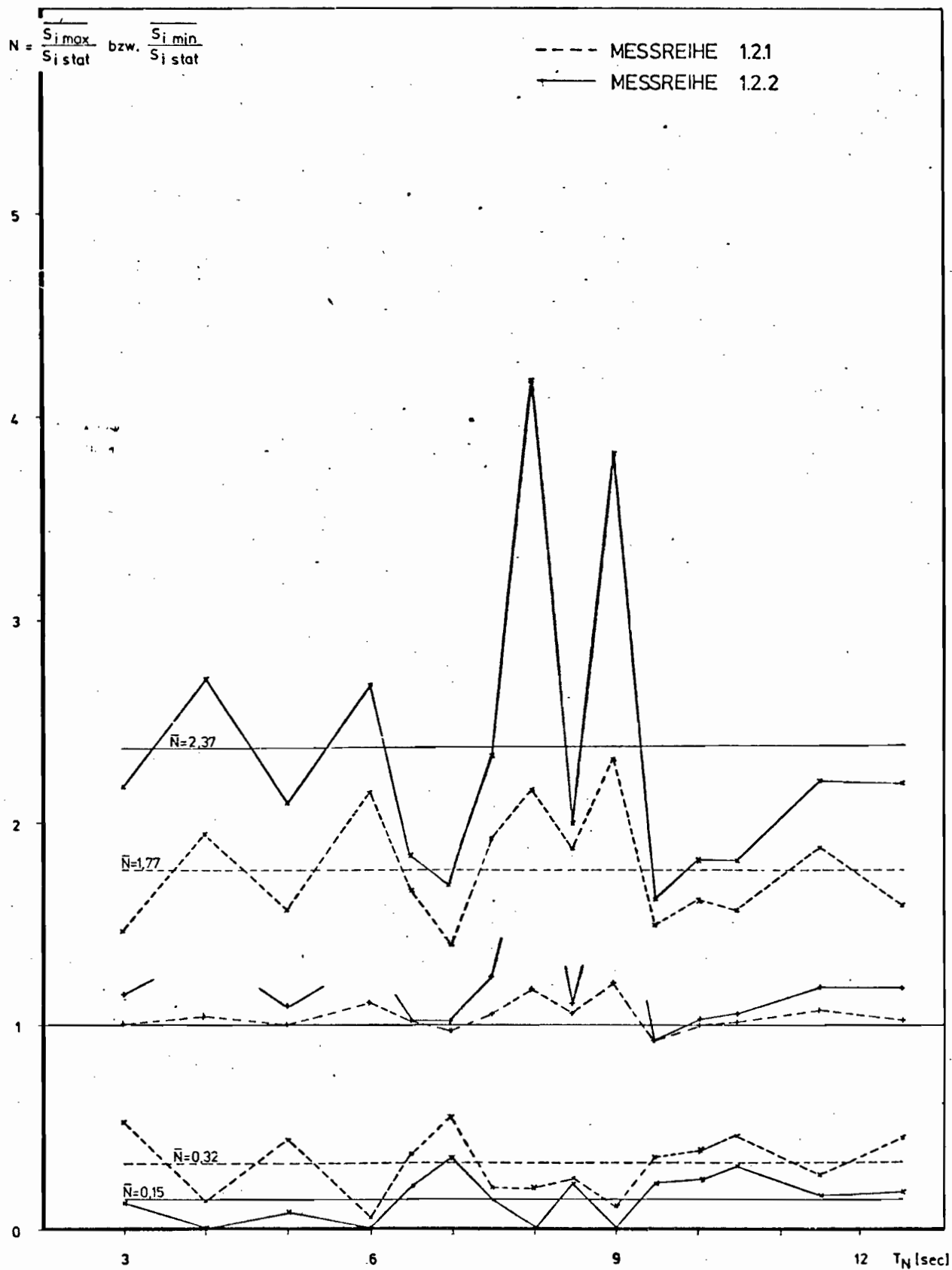


Abb. 18: Untersuchungsergebnisse der Meßreihen 1.2.1 und 1.2.2

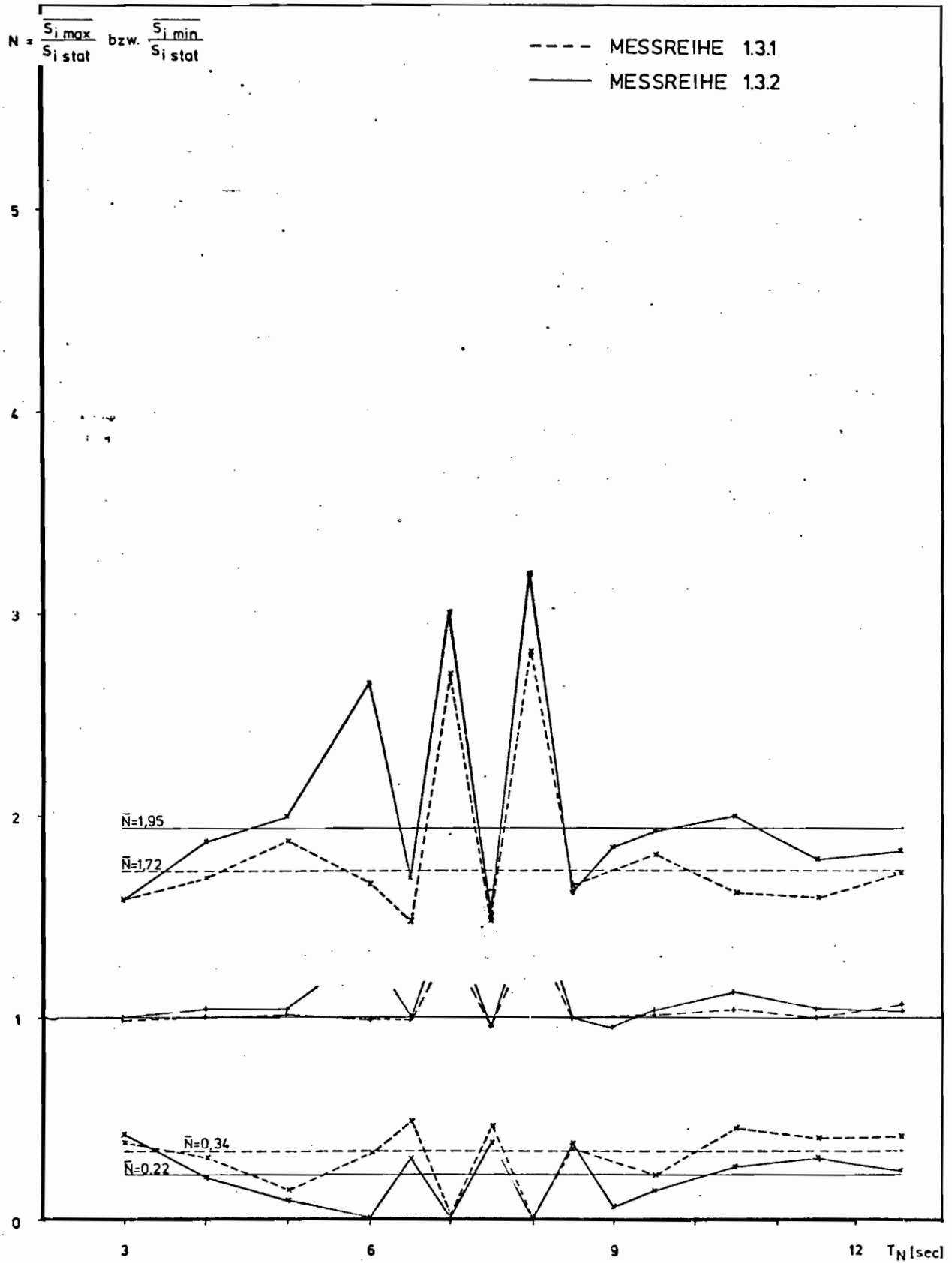


Abb. 19: Untersuchungsergebnisse der Meßreihen 1.3.1 und 1.3.2

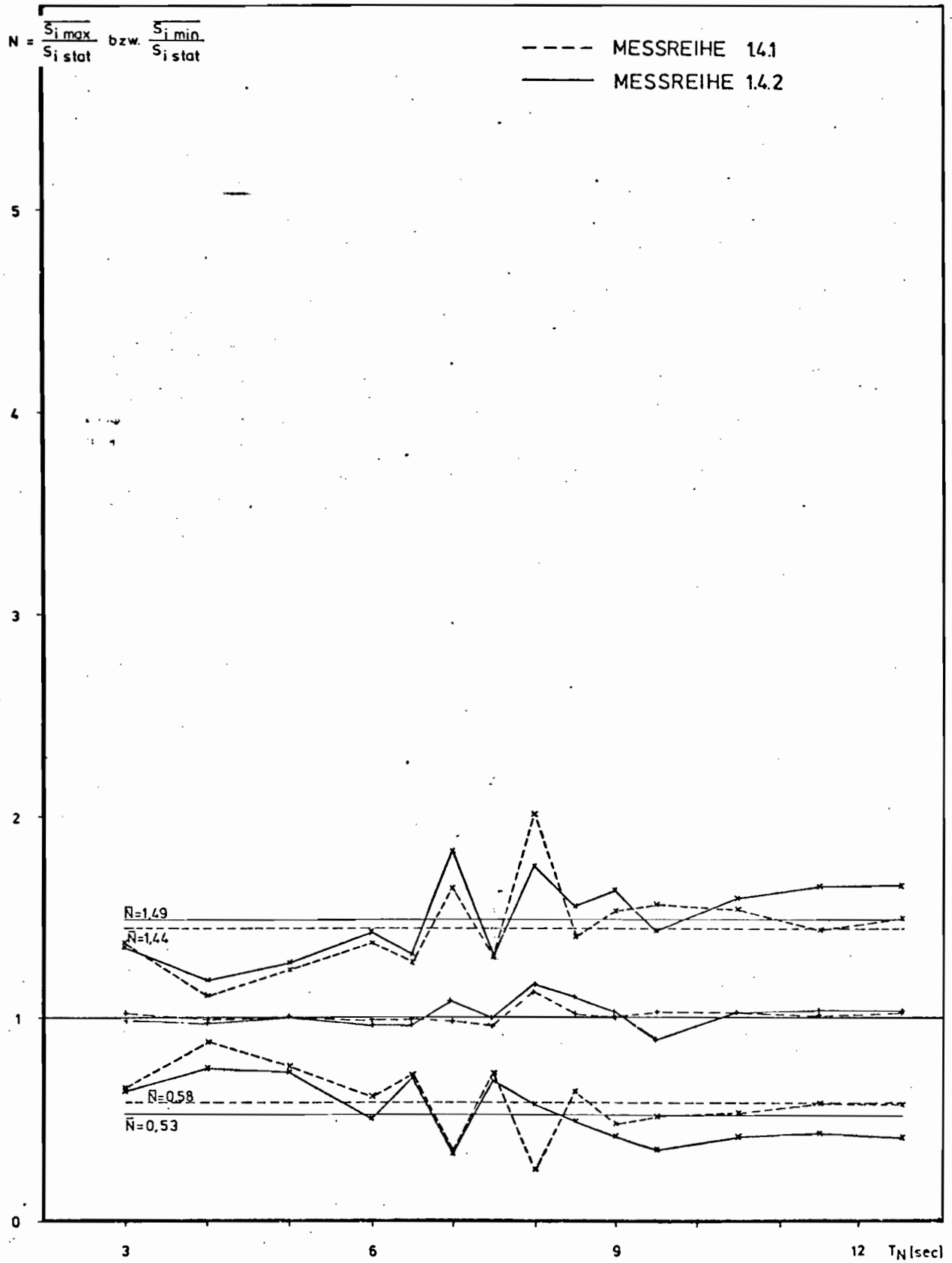


Abb. 20: Untersuchungsergebnisse der Meßreihen 1.4.1 und 1.4.2

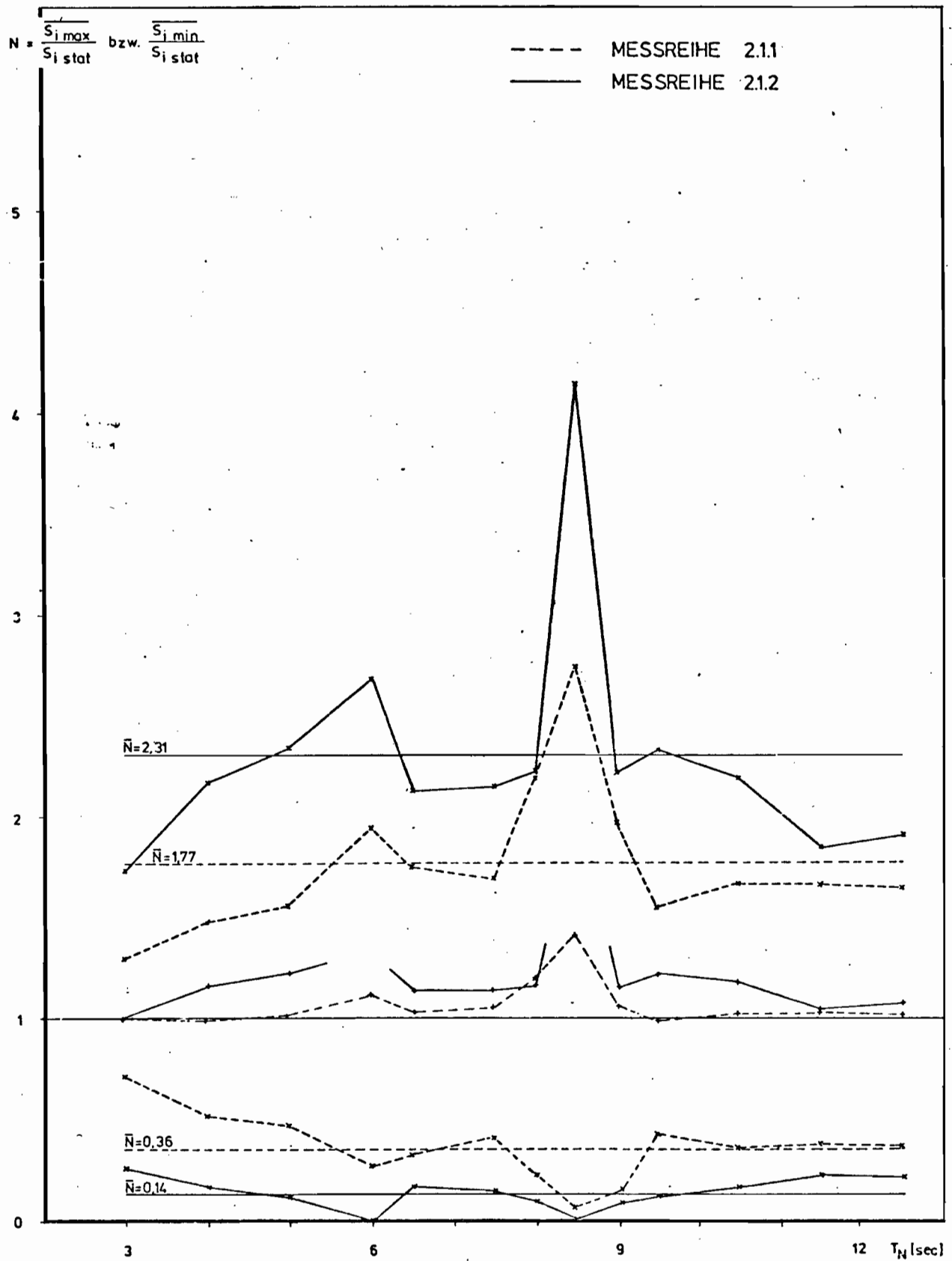


Abb. 21: Untersuchungsergebnisse der Meßreihen 2.1.1 und 2.1.2

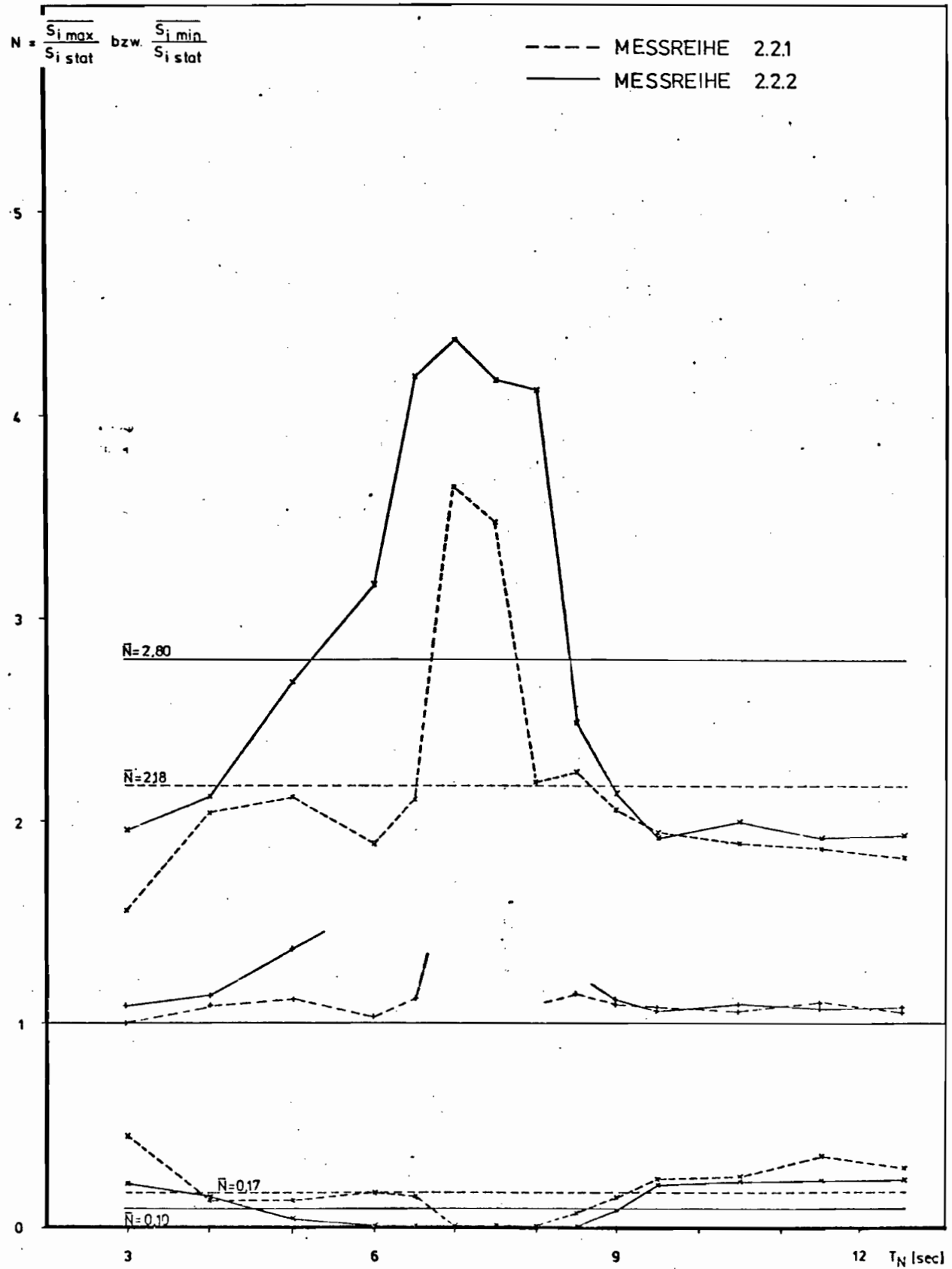


Abb. 22: Untersuchungsergebnisse der Meßreihen 2.2.1 und 2.2.2

Die Testreihen, die sich nur in der Wellenhöhe ($H = 1,0$ m und $H = 1,5$ m) unterscheiden, sind jeweils zusammen in einem Diagramm dargestellt. Auf der Abszisse erscheint der untersuchte Wellenperiodenbereich, während auf der Ordinatenachse die Verhältnisswerte

$$N = \frac{S}{S_{\text{stat}}} \quad \text{aufgetragen sind.}$$

Die statische Ruhelage vor Beginn der jeweiligen Testreihe ist durch $N = 1$ gekennzeichnet.

Im oberen Teil der Darstellung sind jeweils die Werte

$$N = \frac{\overline{S_{\text{max}}}}{S_{\text{stat}}} = \frac{\overline{S_{\text{stat}} + S_{\text{dyn}}}}{S_{\text{stat}}}$$

im unteren Teil die Werte

$$N = \frac{\overline{S_{\text{min}}}}{S_{\text{stat}}} = \frac{\overline{S_{\text{stat}} - S_{\text{dyn}}}}{S_{\text{stat}}}$$

aufgetragen. Durch den Balken wird kenntlich gemacht, daß es sich jeweils um die Mittelwerte der maximal in den 4 Aufhängeseilen in vergleichbarer Größe auftretenden Kräfte handelt.

Die Tabelle auf Seite 27 enthält neben diesen Werten auch die absoluten Maximalseillasten (obere Zahlenwerte). Entsprechend dem geforderten Untersuchungsziel blieb bei dieser Betrachtung die Phasenbeziehung vollständig unberücksichtigt.

Werden zunächst die Untersuchungsergebnisse bei Längsanströmung betrachtet, so kann festgestellt werden, daß wie erwartet

- a) bei kleiner Wellenhöhe ($H = 1,0$ m) auch die maximalen Seilkräfte kleiner ausfallen - die Beziehung gilt durchweg für alle untersuchten Perioden bei den Absenktiefen $z = - 5,5$ m und $z = - 13,0$ m, wohingegen bei den Absenktiefen $z = - 28$ m und $z = - 30$ m vereinzelt geringfügige Abweichungen hiervon vorliegen - und

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	Längsanströmung von West								Queranströmung von Nord			
N[-] in Meß- reihe Periode T [s]	1.1.1	1.1.2	1.2.1	1.2.2	1.3.1	1.3.2	1.4.1	1.4.2	2.1.1	2.1.2	2.2.1	2.2.2
	z = -5,5 m		z = -13 m		z = -28 m		z = -30 m (GRK auf Grund)		z = -5,5 m		z = -13 m	
	H = 1 m	H = 1,5 m	H = 1 m	H = 1,5 m	H = 1 m	H = 1,5 m	H = 1 m	H = 1,5 m	H = 1 m	H = 1,5 m	H = 1 m	H = 1,5 m
3,0	1,57 1,53	2,56 2,44	1,54 1,46	2,32 2,17	1,64 1,59	1,60 1,59	1,48 1,37	1,36 1,35	1,31 1,29	1,80 1,73	1,60 1,56	2,04 1,95
4,0	1,42 1,35	1,60 1,54	2,00 1,94	2,92 2,71	1,72 1,68	1,90 1,87	1,22 1,11	1,30 1,19	1,60 1,47	2,32 2,17	2,20 2,04	2,20 2,11
5,0	1,21 1,19	1,75 1,67	1,60 1,57	2,20 2,10	1,90 1,90	2,08 1,99	1,27 1,22	1,36 1,28	1,63 1,55	2,60 2,34	2,20 2,11	3,16 2,68
6,0	2,26 1,93	3,40 3,09	2,32 2,15	3,04 2,68	1,72 1,67	2,74 2,65	1,51 1,37	1,54 1,42	2,08 1,94	3,16 2,69	2,02 1,88	3,64 3,16
6,5	2,02 1,90	2,74 2,41	1,72 1,67	2,00 1,84	1,62 1,47	1,84 1,69	1,35 1,28	1,42 1,32	1,91 1,75	2,32 2,13	2,38 2,11	4,60 4,18
7,0	- -	- -	1,54 1,39	1,90 1,68	2,92 (1,72) 2,70 (1,53)	3,28 3,01	1,72 1,64	1,93 1,82	- -	- -	4,36 3,64	5,08 4,36
7,5	1,90 1,80	2,44 2,29	2,08 1,93	2,56 3,34	1,60 1,48	1,72 1,51	1,36 1,29	1,36 1,30	1,90 1,69	2,28 2,15	3,76 3,46	4,60 4,16
8,0	3,16 3,13	4,84 4,02	2,44 2,16	4,48 4,18	(1,54) (1,48)	- 3,18	2,20 2,00	1,96 1,74	2,44 2,19	2,86 2,23	2,50 2,19	4,60 4,12
8,5	4,32 3,92	6,24 5,22	2,20 1,87	2,29 2,00	1,75 1,66	1,78 1,63	1,54 1,39	1,75 1,55	2,80 2,74	4,60 4,14	2,80 2,25	3,32 2,48
9,0	2,56 2,26	4,77 4,27	2,62 2,32	4,00 3,82	(2,16) (1,80)	2,14 1,84	1,94 1,53	1,90 1,62	2,08 1,96	2,56 2,22	2,38 2,05	2,44 2,13
9,5	2,32 2,20	2,56 2,44	1,62 1,50	1,84 1,62	2,20 1,80	2,50 1,93	1,63 1,56	1,87 1,42	1,66 1,55	2,68 2,33	2,20 1,95	2,08 1,91
10,5	2,16 1,85	2,20 2,05	1,78 1,57	1,92 1,81	1,75 1,62	2,20 2,00	1,58 1,53	1,66 1,59	1,81 1,67	2,36 2,19	2,02 1,89	2,20 1,99
11,5	1,60 1,54	1,90 1,78	2,02 1,88	2,35 2,20	1,66 1,60	1,94 1,79	1,52 1,43	1,78 1,65	1,93 1,67	2,08 1,85	2,02 1,86	2,24 1,91
12,5	1,72 1,56	2,17 2,05	1,84 1,59	2,29 2,20	1,82 1,71	1,93 1,83	1,58 1,48	1,78 1,66	1,84 1,65	2,32 1,91	1,84 1,81	2,08 1,92

- b) die Mittelwerte $\bar{N} = \frac{\bar{S}_{\max}}{\bar{S}_{\text{stat}}}$ des Periodenspektrums mit zunehmender Absenktiefe z abnehmen, während die Mittelwerte $N = \frac{S_{\min}}{S_{\text{stat}}} \leq 1$ zunehmen.

Bei der Untersuchungsreihe mit Wellenhöhen $H = 1 \text{ m}$ wird der Wert $N = \frac{S_{\min}}{S_{\text{stat}}} = 0$, d. h., vollständige Seilentlastungen im Periodenbereich $7 \leq T \leq 8.5 \text{ s}$ (Absenktiefe $z = -5,5 \text{ m}$ bzw. $z = -28 \text{ m}$) erreicht; bei den Untersuchungsreihen mit $H = 1,5 \text{ m}$ ist der betreffende Periodenbereich mit $6 \leq T \leq 9 \text{ s}$ weiter.

Die Abweichungen $\frac{S_{i\text{stat}}}{S_{\text{stat}}}$ von $S_{i\text{stat}}$ werden jeweils durch die Abweichungen der Mittelwert $\frac{1}{2} \left(\frac{S_{i\max}}{S_{i\text{stat}}} + \frac{S_{i\min}}{S_{i\text{stat}}} \right)$ (um $N = 1$ schwankende Linienzüge) von

$N = 1$ deutlich. Diese Abweichungen können als Maß für die wellenerzeugte Bewegung des Pontons angesehen werden, wobei jedoch zu bemerken ist, daß für den Fall der vollständigen Seilentlastung bzw. maximaler Seilbelastung hierfür kein exakter Wert angegeben werden kann. Die betreffenden Linienzüge sind dort unterbrochen.

Bezüglich der Spitzenwerte N (Peaks) wird deutlich, daß diese vornehmlich Perioden $7 \leq T \leq 9 \text{ s}$ zuzuordnen sind, wenn auch daneben noch weitere Maxima bei kleinen Perioden vorhanden sind, die nach ihrer Lage im Spektrum bei den unterschiedlichen Absenktiefen mehr oder weniger voneinander abweichen.

Auch die Untersuchungsergebnisse bei Queranströmung zeigen für kleinere Wellenhöhen im allgemeinen kleine Maximalseillasten.

Bemerkenswert ist aber, daß hier die mittleren Maximalseillasten bei der geringsten Absenktiefe ($z = -5,5 \text{ m}$)

- a) geringer sind als bei der Absenktiefe $z = -13 \text{ m}$ und
- b) auch geringer als bei Längsanströmung

Im Falle der Absenktiefe $z = -13$ m ergeben sich bei Queranströmung größere Maximalseillasten als bei Längsanströmung (vgl. S. 21).

Ähnliche Abweichungen treten auch bezüglich der Lage der Maximalwerte N (Peaks) im Spektrum auf:

Während bei der geringsten Absenktiefe $z = -5,5$ m der Spitzenwert bei Perioden $8 \leq T \leq 9$ s ähnlich wie bei den Untersuchungsreihen bei Längsanströmung liegt, hat sich bei der Absenktiefe $z = -13$ m ein verhältnismäßig breiter Peak ausgebildet, der seinen Schwerpunkt etwa bei $T = 7$ s hat. Vollständige Entlastungen der Seile treten im Periodenbereich $6 \leq T \leq 8,5$ s auf.

5. Besondere Beobachtungen und Schlußfolgerungen

Untersuchungen zum Eigenschwingverhalten des Systems Gründungskörper (GRK)-Schwimmkran (SK) lieferten eine Frequenz von 0,33 Hz, woraus sich eine Eigenperiode in der Natur $T_N \approx 25$ s errechnet.

Hieraus ist ein Bezug zu den Spitzenwerten der Periodenspektren nicht unbedingt abzuleiten. Andererseits ergeben sich für eine Beckenschwingung in Querrichtung mit den Abmessungen

$$l_M = 3,58 \text{ m entsprechend } l_N = 238,67 \text{ m und}$$

$$d_M = 0,48 \text{ m entsprechend } d_N = 32,0 \text{ m}$$

die Eigenperioden

$$T_N = \frac{2 l_N}{(n+1) \sqrt{g d_N}} = \frac{26,94}{n+1}$$

in der folgenden Tabelle zu:

	n	T [s]	ΔT [s]
Grundschwingung	0	26,94	
			13,47
1. Harmonische	1	13,47	
			4,49
2. Harmonische	2	8,98	
			2,25
3. Harmonische	3	6,73	
			1,34
4. Harmonische	4	5,39	
			0,90
5. Harmonische	5	4,49	

Demnach kann nicht ausgeschlossen werden, daß für die Ausbildung der mehr oder weniger aufgelösten Spektren Beckenschwingungen höherer Ordnung ($n \geq 2$) verantwortlich sind.

Unter anderem ist dieser Vermutung im Rahmen einer Diplomarbeit nachgegangen worden.

Als Ergebnis eingehender Untersuchungen der Wasserspiegelauslenkungen in Abhängigkeit von der Meßposition im Wellenbecken ist festzustellen, daß bei dem unter 3. beschriebenen Untersuchungskonzept durchaus an verschiedenen Meßpositionen unterschiedliche Wellenhöhen gemessen werden konnten. Durch Auswertung von Fotoaufnahmen, vgl. Abb. 23 und 24 konnte nachgewiesen werden, daß sich nach einer bestimmten Betriebsdauer Querwellen mit etwa der Frequenz der Erregerwellen ausgebildet hatten.

Demnach sind die beschriebenen Untersuchungsergebnisse nicht auf monochromatische Wellen zu beziehen, sondern auf einen Seegang mit mehreren Wellensystemen wie er auf offenem Meer, insbesondere an der Position der Forschungsplattform NORDSEE, den Regelfall darstellt.

Einschränkend ist jedoch zu sagen, daß bestimmten Positionen im Wellenbecken - wegen des bei ausgebildetem Beharrungszustand etwa konstanten Phasenabstandes der beteiligten Wellensysteme - ständig größere bzw. kleinere Wellen, als an der Position des Wellenpegels angezeigt, zuzuordnen sind.

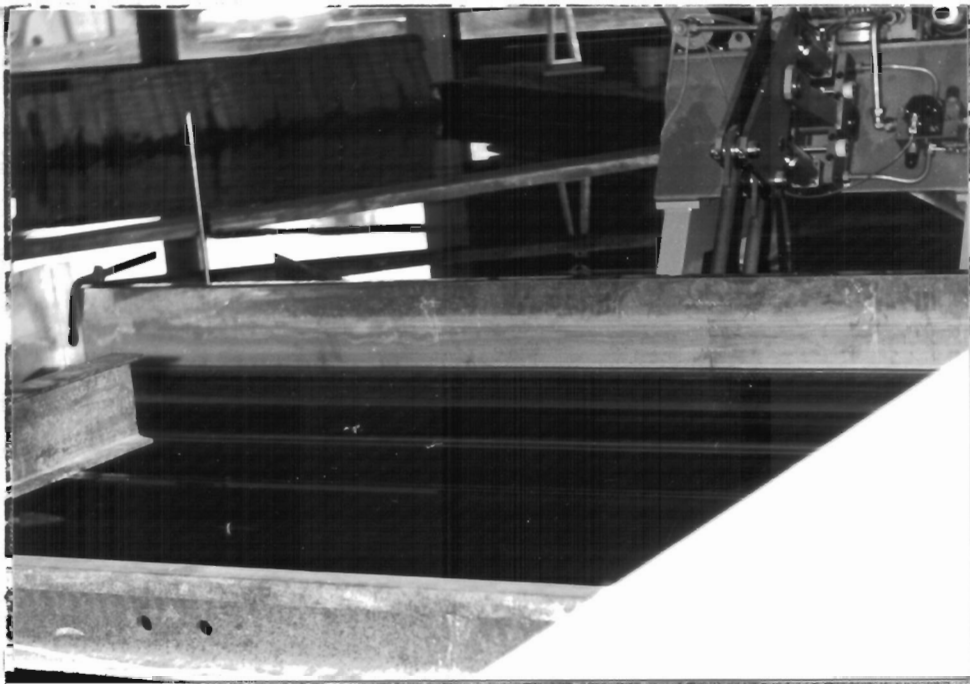


Abb. 23: Ungestörte Wellen bei $T_N = 4,0$ s
kurz nach Inbetriebnahme der Wellenmaschine

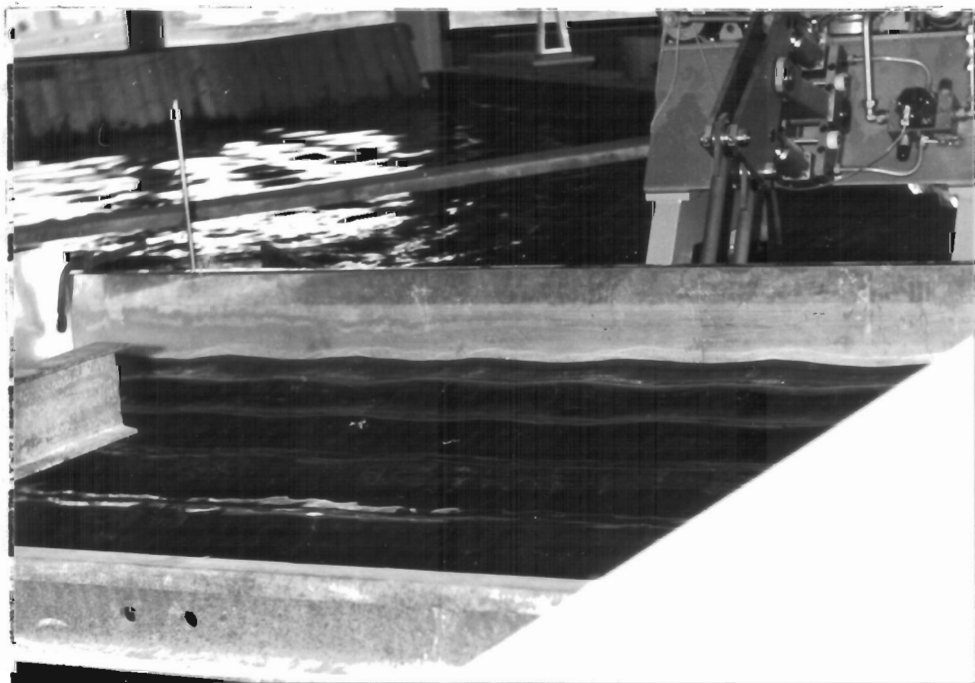


Abb. 24: Überlagerte Querwellen bei $T_N = 4,0$ s
nach einer Betriebsdauer von 4 Min.

Dagegen stellen extreme Wasserspiegelauslenkungen infolge der Überlagerung zweier Wellensysteme in der Natur Zufallseignisse dar.

Entsprechend der Absicht, einen Ansatz für die analytische Beschreibung der Schwingung des Gründungskörpers auf der Grundlage der Wellentheorie 1. Ordnung mit Meßwerten zu vergleichen (BARTONITSCHKE und HEINTZE, 1976) mußte versucht werden, die Ausbildung von Querwellen zu verhindern.

Im Folgenden wurden deswegen - wie bei den Untersuchungen von BRATER, Mc NOWN und STAIR (1958) - nur die ungestörten Wellen zu Beginn eines Versuches zu Meßzwecken herangezogen.

Nach diesem Konzept wurden für den Fall

Längsanströmung,

Absenktiefe $z_N = -13,0$ m und

Wellenhöhe $H = 1,5$ m

sowohl für den Absenkvorgang von einem Schwimmkran als auch von 2 Schwimmkränen aus Messungen durchgeführt. Die Gegenüberstellung der Spektren der maximalen Seilkräfte bezogen auf $S_{stat} = 125$ Mp enthält die Abb. 25. Werden die Ergebnisse auf die Testreihe mit einem Schwimmkran bei monochromatischen Wellen bezogen, so kann festgestellt werden:

- a) Die Werte $N = \frac{S_{max}}{S_{stat}}$ der entsprechenden unter 4. beschriebenen Untersuchungen unter Einwirkung von Querwellen liegen im Mittel um $\Delta N = 0,92$ höher und die zweite Harmonische der Beckenschwingung ($T \approx 9$ s) tritt besonders hervor und
- b) mit wachsender Periode wird der Absenkvorgang von 2 Schwimmkränen aus zunehmend ungünstiger.

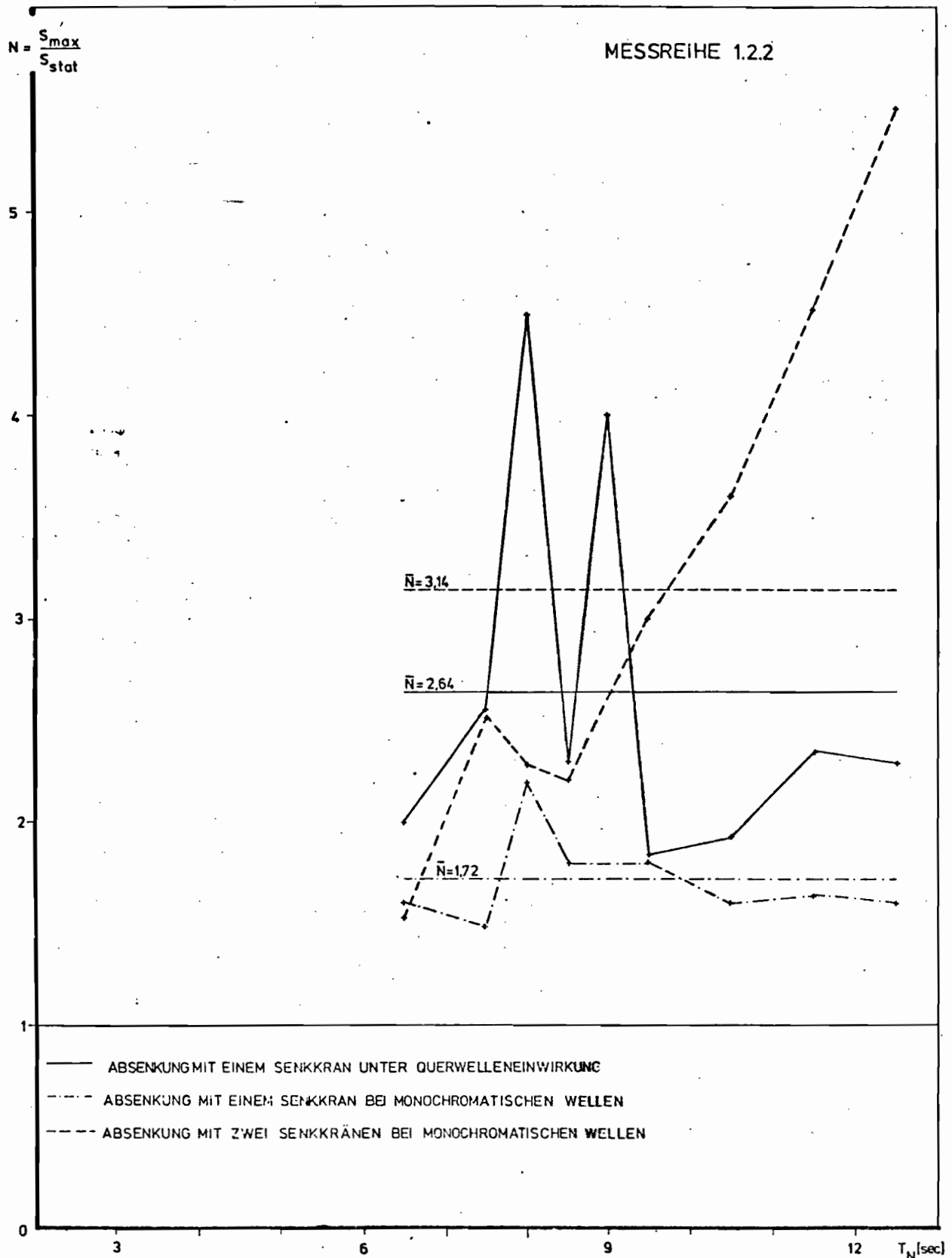
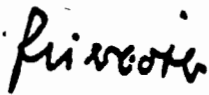


Abb. 25: Gegenüberstellung der Untersuchungsergebnisse der Meßreihe 1.2.2 für den Absenkvorgang von einem bzw. zwei Schwimmkränen aus bei monochromatischen Wellen und unter Querwelleneinwirkung

Letztere Aussage gilt auch im Vergleich mit dem Absenkvorgang von einem Schwimmkran aus unter Querwelleneinwirkung, wenn auch die maximalen Seilkräfte im Periodenbereich $6,5 \leq T \leq 9$ s kleiner ausfallen.

Bezüglich der Vertrauenswürdigkeit und Übertragbarkeit der durchgeführten Untersuchungsergebnisse - insbesondere im Hinblick auf den Einfluß des gewählten Verankerungssystems, der Elastizität der Hebezeuge und des Meßsystems - sind eingehende Erläuterungen in der Diplomarbeit von BARTONITSCHKE und HEINTZE (1976) enthalten, die in einer Kopie diesem Untersuchungsbericht beiliegt.

Braunschweig, im Januar 1977



o. Professor Dr.-Ing.



Obering., Dr.-Ing. gez. cand.ing. K.H. Bartonitschek
gez. cand.ing. D. Heintze

6. Schrifttum

- | | | |
|----------------|------|---|
| FOHRBÜTER, A. | 1960 | Einige elektrische Meßverfahren im wasserbau-
lichen Versuchswesen,
Mitteilungen des Franzius-Instituts für
Wasserbau der Technischen Universität Hannover,
Heft 17, 1960 |
| BRATER, E. F. | 1958 | Wave Forces on Submerged Structures, |
| Mc NOWN, J. S. | | Journal of the Hydraulics Division, |
| STAIR, L. D. | | ASCE, Vol. 84, No. HY 6, Proc. P. 1933 |